

p-28

磁気共鳴映像法による ヘリウム3－4混合液体の相分離とスピン緩和の観察

京都大学大学院理学研究科 低温研究室 藤沢 政雄

物質の空間分布の磁気情報を得る方法として磁気共鳴映像法 (MRI) がある。MRI は試料の切断面の画像やスピンの緩和時間、速度、拡散係数といった情報を同時に得られるという特徴を持っている。MRI を超低温へ応用することによって物質 (特に量子液体と固体 ^3He) の量子効果を多角的に観察するため我々は超低温 MRI を世界に先駆けて開発した。この MRI の方法としては一般的に室温で用いられているパルス磁場勾配法でなく、超低温特有の条件を満たしてくれる定常磁場勾配法を用いている。

今回の実験ではヘリウム3－4混合液体 (ヘリウム3の濃度が6.7%) を $T=9.3\text{ mK}$ から $T=8.47\text{ mK}$ の温度域で観察した。6.7% ^3He の臨界濃度をもつヘリウム3－4混合液体は臨界温度 $T_c=8.70\text{ mK}$ 以下でヘリウム3の濃い相 (C相) とヘリウム4の濃い相 (D相) に相分離することが知られている。ヘリウム3－4混合液体の相分離現象をMRI観測することで相分離面の静的画像からはMRIの解像度、界面張力、接触角が得られ、動的画像からはスピン緩和過程の空間分布の情報を得ることができた。

1) 相分離した状態を超低温 MRI (解像度: 数 $10\text{ }\mu\text{m}$) で画像化し相分離面の形を観察することにより界面張力と接触角の温度依存性を求めることができた。界面張力に関しては現在の実験結果とよく一致し、臨界温度近くでは 0 [dyne/m] に近づいた。また接触角は低温では 0 度に近い値から臨界温度では 90 度になる傾向が観察できた。

2) 磁化を完全にゼロにした状態からそれが平衡状態に戻る時間 T_1 (スピン縦緩和時間) の間に数枚の画像を撮ることでスピン緩和の過程を空間的な情報として得ることができた。まず C 相の容器の表面からスピン緩和が見え始め次第に相分離面に達し D 相にも緩和が伝わっていく様子が観察できた。このような緩和過程の様子は、C 相のスピン緩和が D 相に比べて速いことと、容器からの表面緩和によって観察出来た。容器の形状を変えて同様の実験を行ないスピン緩和を比較してみた。すると容器と試料の接触面積が大きいほうは表面緩和がバルクの緩和より大きな寄与をしたが、小さいほうは表面緩和よりバルクの緩和のほうが大きな寄与をしていた。またこの実験でスピン緩和過程のあいだ相分離面付近での C 相側と D 相側の磁化の比がほぼ一定 ($M_C(\tau)/M_D(\tau) \approx M_C(\infty)/M_D(\infty)$) であることが得られた。その結果、2相の相分離面で↑スピンと↓スピンの化学ポテンシャルは緩和のあいだ各々が等しい ($\mu_{C\uparrow}(\tau) = \mu_{D\uparrow}(\tau)$, $\mu_{C\downarrow}(\tau) = \mu_{D\downarrow}(\tau)$) が成立していた。

3) 今回の実験では、MRI の画像の歪みなどの問題が残った。今後、超低温 MRI の改良により更に正確かつ高解像度な画像化を実現し、超低温での様々な物性の観察を考えている。